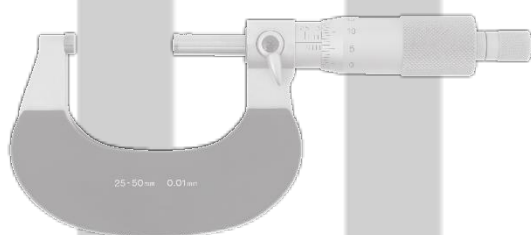


SIGNALKÆDER OG AFLÆSNING AF MÅLEDATA

UNDERVISNINGSELEMENT

A5

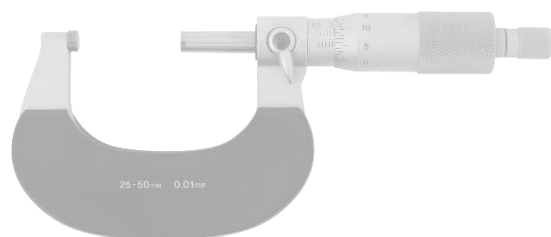
—
UNDERVISNING
I MÅLETEKNIK



SIGNALKÆDER OG AFLÆSNING AF MÅLEDATA

Af Erik Jensen og Johan B. Kondrup, FORCE Technology

2. udgave – Marts 2017



Copyright © 2017 metrologi.dk – Materialet må ikke anvendes til kommercielt brug, uden tilladelse fra metrologi.dk.

Metrologi.dk er finansieret af Styrelsen for Forskning og Innovation. Materiale er udarbejdet i et samarbejde mellem GTS-institutterne DFM A/S, FORCE Technology og DELTA - a part of FORCE Technology.

Læs mere om projektet på www.metrologi.dk.

Parterne i Metrologi.dk kan ikke gøres ansvarlig for fejl og mangler i indholdet af undervisnings materialet eller i indholdet på websitet, samt indholdet i de eksterne dokumenter og websites, der linkes til, medmindre andet følger af dansk rets almindelige regler.

Grafisk design af: Henriette Schäfer Høyrup og David Balslev-Harder.

Indholdsfortegnelse

1	Læringsudbytte	2	3.4.4	Kontrol af et instrument ved et akkrediteret laboratorie	16
2	Signalkæden	2	3.5	Anvendelse af kontrolkort og beslutning om justering	16
2.1	Signalgiveren – sensor og transmitter	2	3.5.1	Kontrol- og acceptgrænser	16
	Boks 1: Udtrykkene prøvning, kontrolmåling og kalibrering	3	3.5.2	Kontrolkort	17
	Boks 2: Black box	3		Boks 8: Lidt om kontrolkort	17
2.2.1	Sikkerhedsbarriere (metode "i")	5	4	Usikkerhedsbudgettet	19
2.2.2	A/D omsætter	6	4.1	Usikkerhed baseret på målinger	19
	Boks 3: ATEX zone	6	4.2	Instrumenters datablade og usikkerheder	20
2.2.3	Flowcomputer/RTU	6	4.3	Et regneeksempel	20
2.2.4	OPC/SCADA/SRO	7	5	Opsummering	21
2.2.5	Kommunikationen imellem enheder ...	7			
2.3	Signalkæden – det svage led	8			
	Boks 4: Udtrykkene prøvning, kontrolmåling og kalibrering	8			
3	Den kritiske stillingtagen til data	9			
3.1	Aflæsning af værdier fra skærm	9			
3.1.1	En lille øvelse	9			
	Boks 5: Midtpunkt, middelværdi, gennemsnit, standardafvigelse og standardusikkerhed	10			
	Boks 6: Sandsynlighedsfordeling og udvidet usikkerhed	11			
3.2	Valg af signalkæde	12			
3.2.1	Valg af transmitter.	12			
3.2.2	Valg af måleinterval, dødbånd, cut-off osv.	13			
	Boks 7: DAHS standard og miljørapportering ...	13			
3.3	Kontrol ved sammenligning	13			
3.4	Direkte kontrol af visning	14			
3.4.1	Etablering af en kendt tilstand	15			
3.4.2	Referenceinstrumenter	15			
3.4.3	Kontrol af transmitter/sensor på stedet (eller firmaets eget værksted).	16			

1 Læringsudbytte

Dette materiale introducerer den studerende til hvorledes data vist på en overvågningsskærm (herefter kaldet *skærm*) hænger sammen med selve målingen og hvordan der kan være en forskel, som kræver en kritisk stillingtagen til de aflæste værdier.

Materialet tager udgangspunkt i en praktisk tilgang til anvendt måleteknik i forbindelse med mindre anlæg i laboratoriet – for eksempel en dieselmotordreven generator eller dampkraftvarme anlæg. I forbindelse med test og målinger på disse anlæg skal den studerende opbygge kompetencer til at foretage grundlæggende kontrol af det måletekniske udstyr, fortolke data vist på skærme samt en basal brug af et usikkerhedsbudget for instrument signalkæder.

Den studerende kan på basis af dette materiale

- foretage målinger og vurdere på tilhørende usikkerheder relevant for den enkelte måleteknik
- foretage kontrol af instrumenter samt at sikre at der ved kontrollen er anvendt et brugbart instrument som reference
- opstille et forenklet usikkerhedsbudget for en signalkæde
- forholde sig kritisk til data vist på en skærm

2 Signalkæden

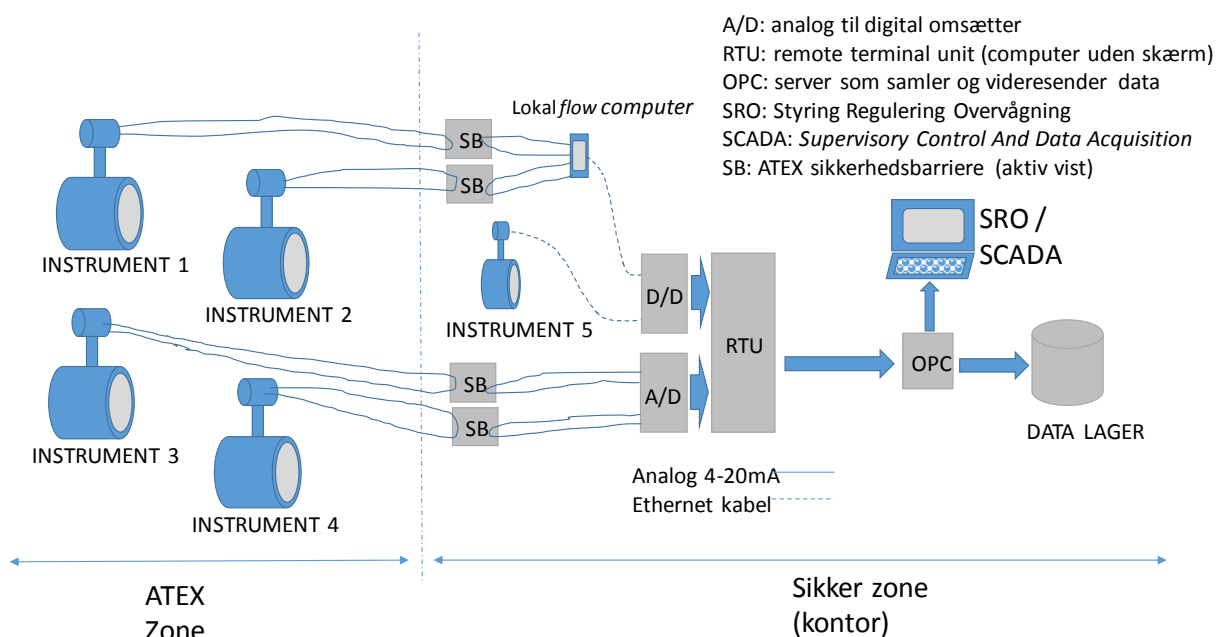
Udtrykket signalkæde anvendes som et overordnet udtryk for målesignalet vej fra sensoren til værdien vist på skærmen.

Figur 1 viser en skitse af et processystem med overvågning af fem instrumenter eller målepunkter. Afsnittene 2.1 til 2.3 tager udgangspunkt i figur 1.

Enhver kæde er ikke stærkere end det svageste led – dette gælder også signalkæder. Kvaliteten af data vist på en skærm er i høj grad afhængig af hvorledes signalet håndteres samt hvorledes data præsenteres og anvendes. Dette afsnit beskriver med udgangspunkt i figur 1, signalkæden og hvilke påvirkninger, der kan ødelægge en ellers god måling.

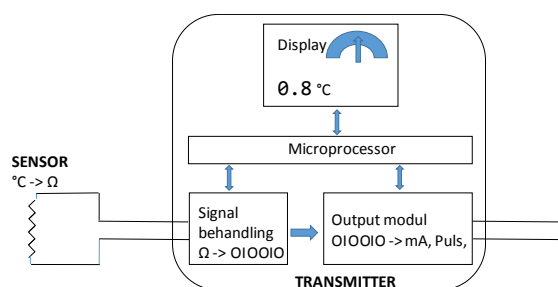
2.1 Signalgiveren – sensor og transmitter

Et måleteknisk signal frembringes i langt de fleste situationer via kombinationen af en sensor og transmitter, som kan være sammenbygget eller separat monteret. Figur 2 viser en forsimplet skitse af sensor og transmitter (temperatur måling).



Figur 1: Signalkæder i en tænkt installation.

Sensoren har til formål at omdanne en fysisk påvirkning til et signal, som direkte eller indirekte kan registreres elektronisk. En temperatursensor kan for eksempel udnytte at den elektriske modstand i et materiale er afhængig af materialets temperatur.



Figur 2: Simple skitse af sensor og transmitter installation.

Mekanisk bøjning/stræk anvendes for eksempel til momentmåling og måling af træk/tryk kraft. I andre instrumenter udnyttes kemiske stoffers evne til at absorbere forskellige dele af en lyskildes frekvensspektrum. Der er et utal af andre eksempler, hvorfor der henvises til andre kilder såsom producenter af udstyr for en mere detaljeret beskrivelse af måleprincipper.

Uanset måleprincippet er alle sensorer følsomme overfor en overbelastning, hvorfor det er vigtigt at undgå at sensoren bliver belastet ud over dens begrænsninger. Hvis det sker alligevel skal instrumentet udsættes for en *prøvning* for at eftervise at denne fortsat overholder de ønskede tolerancer. Nogle sensorer er ligeledes udsat for ældning og slitage, som ikke altid opdages før der foretages prøvning.

Transmitteren består af flere delelementer:

- En elektronisk signalbehandling, som har til formål at reducere påvirkningerne på måledata fra for eksempel målestøj samt en konvertering af den fysiske påvirkning til anvendelig data.
- En output modul, som kan levere data i et format, som tillader kommunikation med andre enheder eller aflæsning på en ekstern skærm. Dette kan for eksempel være strøm, spænding eller pulser.
- Et display/brugerinterface for visning af data og justering af parametre.

Boks 2: Black box

Udtrykket black box blev opfundet omkring 1941-1945 og dækker over at man kun kender hvad der går ind i elektronikken og hvad, som kommer ud igen. Indholdet i elektronikken er ukendt.

Den elektroniske databehandling er for de fleste en *black box*, hvor der sker en dataomsætning fra den fysiske ændring – for eksempel en modstandsændring – til binær data. Parametrene værdier anvendt til omsætningen gemmes ofte i hardwaren og nogle gange i en udskiftelig chip, som er programmeret til at passe præcist til den specifikke sensor.

En typisk kilde til unøjagtigheder er, hvis der ved tilgang til transmitteren med fortsat eller uforsætlig adfærd er ændret på disse fabriksindstillinger eller, at der mere enkelt ikke er anvendt den chip, som er programmeret til anvendelse sammen med sensoren.

Boks 1: Udtrykkene prøvning, kontrolmåling og kalibrering

Udtrykkene prøvning og kalibrering er metrologiske fagudtryk, som i den praktiske dagligdag ikke altid anvendes ud fra de korrekte definitioner.

Prøvning er et udtryk for at instrumentets afvigelse fra en korrekt værdi fastlægges. En verifikation omfatter kontrol af om resultatet fra prøvningen overholder fastlagte krav. I den praktiske dagligdag anvendes ofte udtrykket kontrolmåling om prøvning.

Udtrykket kalibrering er et fagudtryk for at et instruments afvigelse fra den korrekte værdi fastlægges, og at denne værdi kan anvendes til at fastslå den korrekte værdi. Kalibrering omfatter ikke justering af instrumenter.

Andre fejlkilder er hvis brugeren selv har forsøgt sig med justering af mindste visning (ofte benævnt *cut-off*), dæmpning eller lignende parametre, som alle kan give en målefejl på grund af datahåndteringen inde i transmitteren.

Målestøj kan være af mekanisk eller elektronisk art. Herunder er listet nogle få af disse:

- To ledninger placeret ved siden af hinanden kan være kapacitivt koblet, således at frekvenser i den ene ledning genererer et signal i den anden ledning (virker som en antenne). Af samme årsag skal signalledninger altid være med jordet skærm.
- Hvis ledninger, jordforbindelsen og en eller flere mekaniske dele tilsammen udgør et elektrisk ledende kredsløb (løkke), så vil et varierende magnetfelt igennem denne løkke betyde, at der induceres en elektromotorisk kraft som vil kunne give enten en spændingsforskel et sted i løkken med lav elektrisk ledningsevne eller generering af en strøm i løkken.
- Mekaniske kontakter kan give højfrekvent elektrisk støj, når de åbner/lukker.
- Mekaniske vibrationer vil kunne påvirke signalet enten via de elektriske effekter af vibrerende ledninger, men også påvirke signalet, hvor der er anvendt måleprincipper baseret på vibrationer.
- Det målte medie kan også være en støjkilde. Eksempler er måling af væskeflow i nærheden af pumper og væske i impulsrør ved måling på gasser.

Output modulet skal sikre mulighed for at sende data videre til datahåndtering og lagring.

Der findes overordnet set fire metoder til kommunikation til og fra transmitteren.

- **Analogt** signal betyder, at der i en lukket strømkreds sendes en strøm som normalt er proportionalt med den parameter, som ønskes viderebragt fra transmitteren. Dette kan for eksempel være en temperatur. Anvendelse af 4 mA - 20 mA er meget ofte forekommende, da det efterlader for eksempel 0 mA som en alarm indikator. Det analoge signal kan således anvendes til én parameter samt alarmstatus. Fordelen ved et analogt system er at den er meget enkel og billig at etablere.

- **HART** kommunikation (Highway Addressable Remote Transducer) er en digital kommunikationsform, hvor strømmen i det analoge kreds overlejres med en frekvens af størrelsesordenen $\pm 0,5$ A. En frekvens på 1200 Hz svarer til det binære tal 1 og frekvensen 2400 Hz svarer til det binære tal 0. Hvis der anvendes et 4 mA – 20 mA, kan der kun kommunikeres med et enkelt instrument. Hvis strømkredsen fastlåses til 4 mA, er det muligt for nogle fabrikater af udstyr, at etablere kommunikation med op til 63 forskellige instrumenter på samme strømkreds men på bekostning af at der ikke overføres en værdi analogt som for 4 mA – 20 mA. Dette kaldes multidrop. I de senere år er det også blevet muligt at anvende trådløs HART. Der findes håndbårne *HART kommunikatorer*, som når de er koblet på strømkredsen, kan anvendes til at servicere transmitteren uden at forstyrre output signalet. Da strømkredsen ikke brydes, er det en oplagt mulighed for kommunikation med instrumenter i ATEX zoner – for eksempel i forbindelse med kontrol.

- **Puls.** Transmittere kan sættes op til at sende en elektronisk eller optisk puls for hver fastlagt mængde – for eksempel for hver m³ vand, som er afmålt med en vandmåler. Der findes et utal af pulsformer og spændingsniveauer. Modtageren af et pulssignal skal derfor være sat op til at anvende samme pulsform som afsendt da der ellers er risiko, for at fejlfortolke eller miste pulser og dermed få en fejl på målingen.

- **Digitalt** datatransmission foregår ved at der sendes hvad der kaldes *telegrammer* bestående af lange tekststrengene bestående af enten 1 eller 0. Tekststrengens opbygning er fastlagt i *protokollen* for den anvendte kommunikationsvariant. Der findes et antal forskellige protokoller for digital kommunikation – for eksempel Modbus, FOUNDATION Fieldbus og Profibus. Tekststrengen er ofte opdelt således, at de første karakterer er navnet på parameteren og de efterfølgende karakterer er parameterens værdi.

For transmittere er kommunikationen ofte sat op, således at den dataopsamlende enhed skal *spørge* transmitteren om en værdi, hvorefter transmitteren

sender værdien. Dette kaldes *polling* og beskrives nærmere i afsnit 2.2.5

Fælles for protokollerne er, at succesfuld kommunikation mellem modtager og sender både kræver, at sender og modtager er sat op til samme specifikation af tekststrengen og udformning af pulser/frekvenser, hvilket sikres ved at *det fysiske lag* i kommunikationen anvender faste pulsformer og spændingsniveauer. To af de mest kendte standarder er RS232C og RS485.

RS232C er den ældste (fra 1962) og baseret på at modtager og sender har samme nulpunktsledning. Signalet anvender en spændingsniveau mellem 3 V - 15 V som værdien 0 og et spændingsniveau mellem -3 V - -15 V som værdien 1. Afsenderen af information anvender ± 5 -15 V, hvorimod modtageren forventer ± 3 -13 V.

RS485 anvender en spændingsforskel imellem to ledere på minimum 200 mV til at beskrive enten "1" eller "0" alt efter fortegn på forskellen. Der er således i princippet et frit spændingsniveau.

Styrken ved moderne digital kommunikation er, at et større antal transmittere kan sende data på den samme ledning og der kan sendes information/instruktion frem/tilbage over samme net. Der kan således både modtages data fra en transmitter samtidigt med at der foretages ændringer i opsætningen af samme transmitter.

En anden styrke at en parameters værdi sendes direkte, hvorimod det analoge signal konverteres mindst to gange – først til en analog relativ værdi og derefter skal modtageren være sat op til at forstå betydningen af værdien (parameternavne i softwaren kan være for eksempel RANGEMAX og RANGEMIN).

2.2 Data transmissionen imellem transmitter og SRO skærme

Datatransmissionen fra transmitteren og frem til at værdierne kan ses i kontrolrummet sker igennem flere trin. Figur 1 viser elementer i et analog-digitalt system anvendt for fire transmittere anvendt i et

ATEX zone (den viste beskyttelsesmetode er af typen egensikker).

2.2.1 Sikkerhedsbarriere (metode "i")

Sikkerhedsbarrieren anvendes til elektriske forbindelser, hvor energiniveauet i ledningen vil være tilstrækkeligt til at kunne danne en gnist ved en fejl.

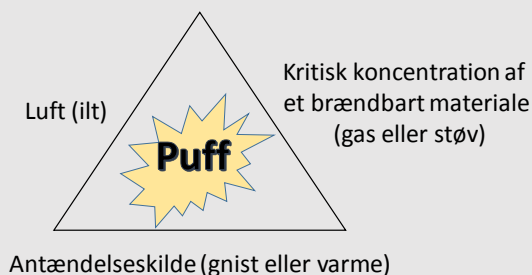
Der findes passive og aktive barrierer. Figur 1 viser aktive barrierer, hvor sikkerheden består i at strømkredsen til A/D kortet og strømkredsen til transmitteren er adskilte. I barrieren spejles strømmen således via en kombineret A/D og D/A elektronik (I/I konverter). Den passive barriere består grundlæggende i, at en zenerdiode og modstand er monteret imellem fremløb og tilbageløbet på strømkredsen, således at der foretages en kontrolleret styring af spænding og modstand selv om den ene ende af strømkredsen åbnes (for eksempel på grund af en løs forbindelse).

Fælles for den aktive og passive beskyttelsesmetode er, at strømmen i strømkredsen set fra transmitterens synsvinkel ikke er helt identisk med strømmen, som går igennem A/D konverteren. Ældre aktive barriere kan have en strømfejl på over 1 %, men normalt mindre end 20 μ A (samt 1 μ A/°C), hvis der vælges en barrierer som af producenten er tiltænkt at give den bedste nøjagtighed for strømkredsen. En forkert valgt passiv barriere kan have en lækstrøm på op til 1 mA (!) men den normale angivelse i datablade er bedre end 5 μ A.

På grund af disse forskelle i strømniveauet set fra transmitteren og niveauet set fra A/D konverteren, kan det være nødvendigt at foretage et trim af transmitterens output, således at A/D konverteren oplever den korrekte strøm. Normalt bør denne type trim dog ikke foretages. I stedet for bør barrieren skiftes til en bedre variant, hvis en afvigelse imellem transmitterens måling og data på skærmen er større end acceptabel for den pågældende installation.

Boks 3: ATEX zone

ATEX er en forkortelse af det franske Atmosphere explosible. ATEX zoner er områder, hvor der er risiko for eksplosioner som følge af at der kan forekomme en atmosfære bestående af ilt (luft) og letantændelige væsker, væsketåger, gasser eller støv. ATEX reglerne beskriver således hvorledes det sikres undgået at det tredje element krævet til at lave en eksplosion – en antændelseskilde – ikke vil eksistere samtidigt.



ATEX områderne opdeles i zone 0 (ofte eller altid tilstede), zone 1 (lejlighedsvis tilstede under normal drift) og zone 2 (sandsynligvis ikke tilstede eller kun meget kortvarigt under normal drift).

Ud over olie/gas industri, så findes der også eksplosive områder i forbindelse med korn- og foderstof, tekstilindustrien, sprøjte- og pulvermaling samt industribagerier. En garage med knallerter og/eller biler kan også være zone 2. Direktiv 2014/34/EU (ATEX Direktivet) beskriver hvilke krav og steder, som er omfattet af ATEX områder. Bemærk at ATEX også omfatter mekaniske konstruktioner, hvor der ikke må kunne genereres statisk elektricitet eller være varme overflader, som begge er antændelseskilder.

Sikkerhedsbarrierer med henblik på anvendelse i ATEX zoner kan etableres på mange måder – lige fra at sikre at energiniveauet i en ledning ikke kan antænde en gnist (egensikker) til at indkapsle den usikre del med i et kammer med overtryk, sandfyldt eller eksplosions sikker (hvis der sker en eksplosion inde i kammeret, så sker der ikke noget udenfor kammeret). De forskellige metoder findes beskrevet på internettet.

2.2.2 A/D omsætter

A/D omsætteren er et indgangskort til den databehandlende computer og har udelukkende det formål at omsætte et eller flere mA signaler til digitale værdier, som igen sendes videre til computeren. D/D omsætteren vist på figur 1 har tilsvarende til formål at håndtere signaler fra et eller flere digitale forbindelser og sende disse videre til computeren via det interne kommunikationssystem, som ofte vil have et væsentligt større antal digitale bits til rådighed.

A/D omsætningen etableres ved at strømmen i strømkredsen sendes igennem en (shunt)modstand og A/D kortet omsætter den målte spænding over modstanden til et binært signal. Nøjagtigheden af denne konvertering afhænger primært af antallet af bits (opløsning), men også af ydre omstændigheder såsom omgivelsestemperatur, forsyningsspænding, tolerance på shuntmodstanden og lignende.

Tabel 1 viser lidt om betydningen af antallet af bits.

2.2.3 Flowcomputer/RTU

Flowcomputer og RTU er forskellige navne for den samme type af elektroniske enheder, som på basis af input fra signalgivere foretager beregninger af ønskede værdier. Disse kan være gennemsnittet af en målt værdi over en time, totalen over et døgn eller blot værdien selv korrigeret for et offset (for eksempel tankmåling, hvor nulpunktet skal justeres for at tage højde for tankens vægt. Dette kan være angivet som *tara*).

RTU henter ofte data med en lav opsamlingsfrekvens – for eksempel en gang per sekund eller sjældnere. Dette gøres for at dataindhentningen ikke skal belaste RTU processorer for meget, idet disse også skal have tid til at foretage beregninger og kontrolberegninger.

Flowcomputer anvender kun få signaler som input og skal beregne få værdier på basis af disse. Flowcomputeren kan således indsamle data med en høj opsamlingsfrekvens og dermed opnå større nøjagtighed på de beregnede værdier.

Bits	Højeste opløsning	Unøjagtighed ved 20 mA	Unøjagtighed ved 4 mA
8	256	0,39 %	1,56 %
12	4.096	0,024 %	0,098 %
16	65.536	0,0015 %	0,0061 %
20	1.048.576	0,0001 %	0,00038 %
24	16.777.216	0,000006 %	0,000024 %
32	4.294.967.296	0,00000002 %	0,00000009 %

Tabel 1: Antallet af bits og forventelig opløsning og unøjagtighed for A/D omsætningen.

Flowcomputere anvendes, hvor målepunktet skal bruges til afregning overfor SKAT og andre myndigheder eller kunder. I disse sammenhænge er beregninger foretaget i en RTU ikke at foretrække.

2.2.4 OPC/SCADA/SRO

Dataopsamling og præsentation sker via dataopsamlingssystemer, som kan have forskellige navne. De virker på samme måde som en RTU, idet OPC/SCADA/SRO enhederne samler data fra et eller flere RTU enheder, laver beregninger og præsenterer disse på skærme. Eneste specielle forhold er, at en OPC/SCADA/SRO også giver mulighed for at brugeren på en enkelt måde kan indtaste tal og derigennem sende parameterværdier tilbage til en RTU for anvendelse i de indbyggede beregninger. Tilsvarende ændringer i en RTU foretages normalt ved at der indlæses en ny revision af softwaren for den aktuelle RTU.

2.2.5 Kommunikationen imellem enheder

Komponenter som anvender digital kommunikation kan enten sende data *kontinuerligt* eller udelukkende på *forespørgsel* fra modtageren af signalet. Dette afhænger af protokol og hardware.

Kontinuerligt betyder at instrumentet/RTU/computer hele tiden sender seneste værdi af en parameter ud på kommunikationsledningen og som derefter kan aflæses af alle enheder, som lytter på denne kommunikationsledning. Problemet med denne opsætning er, at der hurtigt kan komme mange gentagelser af samme værdi og at disse blot bidrager til øget belastning af kommunikationen og derigennem risiko for at data går tabt. For at

begrænse mængden af kommunikationen anvendes hvad som kaldes *RBE (Report By Exception)*, hvilket i sin enkelthed går ud på at der kun sendes en værdi ud, når denne er tilstrækkeligt forskellig fra seneste udmelding. Til at fastlægge niveauet for hvornår en ændring er væsentligt nok til at blive transmitteret, anvendes noget som kaldes et *dødbånd* som kan angives i procent af fuld skala eller absolut værdi. Dødbånd er den værdi, som en parameter skal ændre sig for at den opfattes som værende forskellig fra den hidtidige værdi.

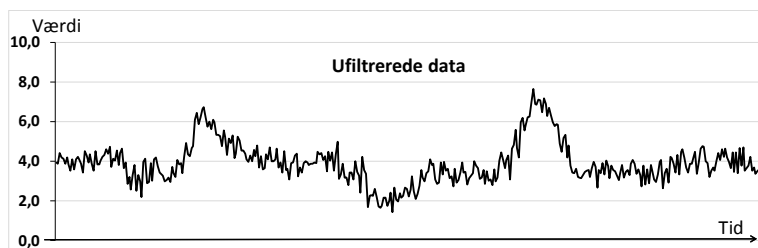
Forespørgsel (også kaldet *polling*) er et udtryk for at et instrument/RTU/computer sender en besked ud på kommunikationsledningen om, at en bestemt transmitter (node) skal kigge i et bestemt register og returnere med værdien af denne. Dette er en kommunikationsform imellem to parter.

Unøjagtigheder ved anvendelse af det analoge signal relateres til risikoen for at strømkredsen brydes, menneskelige fejl ved angivelse af måleinterval samt en risiko for at barrieren forstyrrer det analoge signal.

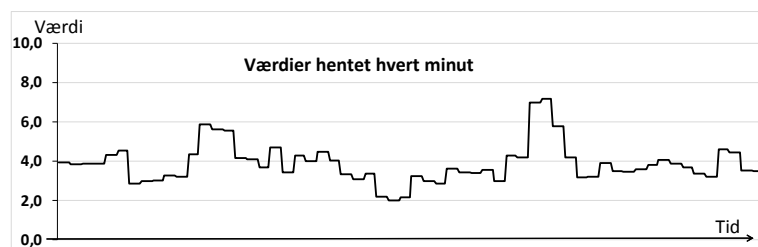
Tilsvarende er de primære risici for unøjagtigheder ved anvendelse af den digitale kommunikationsform at der *overhøres* en værdi (tabes), at der ikke forespørges nok på en værdi til at variationen bliver kendt eller at dødbånd og opløsning er sat, således at variationer ikke opdages af systemet.

Boks 4: Udtrykkene prøvning, kontrolmåling og kalibrering

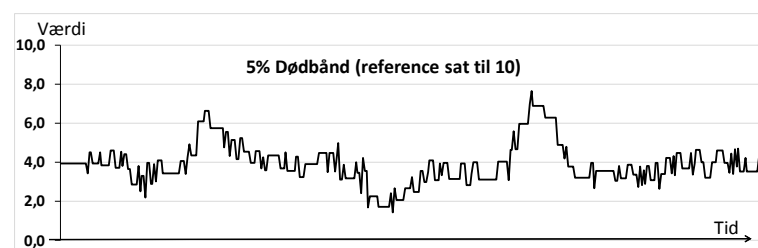
Nedenfor er vist det reelle signal fra et instrument, som har et måleinterval på 0 - 10 enheder og som internt beregner en værdi hvert sekund inklusive dæmpning i forhold til variationer på sensoren. Kurven viser 3600 datasæt svarende til en time. Gennemsnittet er 3,914.



Herunder er vist hvorledes signalet ser ud, hvis data hentes af en RTU med et interval på et minut. Der er i denne time hentet 60 datasæt som tilsammen har et gennemsnit på 3,860. Dette giver en forskel på ca. 1,4 % i forhold til de oprindelige data.



Herunder er vist hvorledes det tilsvarende signal ser ud, når data afsendes af instrumentet med en dødbånd på 5 % af maksimumværdien på 10 enheder. Der er afsendt 147 datasæt med tilsammen et gennemsnit på 3,912 eller mindre end 0.1% forskel i forhold til de oprindelige data.



Behovet for datalagerkapacitet er dermed reduceret ganske betragteligt samtidigt med at kommunikationen på signalledningerne er reduceret væsentligt.

Er der så nogen grund til at hente data ofte? Svaret er at det afhænger helt af hvad de målte værdier anvendes til og i hvilket omfang store udsving kan forventes og om sådanne skal anvendes til styringskritiske formål. Men uanset hvad så skal konsekvensen af et valg imellem RBE og Polling medtages, når der foretages en estimering af usikkerhedsbudgetter.

2.3 Signalkæden – det svage led

Signalkædens opbygning og opsætning består som nævnt i de tidligere afsnit af en række kilder til måleusikkerheder og unøjagtigheder. Der er mange andre kilder til usikkerheder som ikke er nævnt. Det centrale læringspunkt er at huske at alle data vist på

en skærm har været igennem mange trin, hvor der foretages en håndtering af signalet og at disse trin hver især tilføjer usikkerheder til data under hele processen. Kapitel 3 beskriver metoder til at være kritisk overfor data, som vises på en skærm og hvorledes det er muligt at kontrollere nøjagtigheden og præcisionen af disse.

3 Den kritiske stillingtagen til data

Kombinationen af de forskellige kilder til usikkerhed betyder at data som regel ikke viser den sande værdi. Dette er dog ikke det samme som at data ikke er brugbare – man skal blot huske på at al data – kurver eller tal - er behæftede med en tilhørende usikkerhed som sammen med tallet beskriver det interval, som den virkelige værdi tilhører.

Den kritiske stillingtagen til data kombinerer kendskabet til brugen af et tal med kendskabet til de anvendte datas nøjagtighed og præcision.

Et målesystem med lav præcision skal i første omgang forbedres ved at ombygge målesystemet for at minimere kilderne til måleusikkerhed.

Et målesystem med høj præcision men dårlig nøjagtighed kan forbedres ved at kompensere for afvigelsen. Et flowmeter, som sidder et sted med dårlige strømningsforhold, vil måske have en høj præcision men en dårlig nøjagtighed på grund af installationen. Forbedring af data kan ske ved at kompensere for afvigelsen (eksemplet er tankmåling med en niveauføler, hvor der etableres et nulpunkt efter tømning af tanken).

3.1 Aflæsning af værdier fra skærm

I kontrolrummet aflæses data normalt enten som en værdi eller kurve på skærmen. Disse værdier skal altid anvendes med en kritisk stillingtagen. Anvendes for eksempel et screendump af en skærm med flere tal er det ikke sikkert, at disse data er opdaterede. Screendumps af tal kan som udgangspunkt udelukkende anvendes til indikation.

Trends og tidsgennemsnit (for eksempel beregnet i SCADA systemet og vist som løbende gennemsnit) anvendes bedst til vurdering af en parameter, da disse kan omfavne naturlige variationer og tidsforskydninger i dataopsamlingen.

Data, som ikke ændrer værdi, er enten vist med for få decimaler, manuelt indtastet (fastholdt) værdi eller opsamlet/håndteret med for lav frekvens (eller nået en grænse, hvor displayet er begrænsende for data).

Det korrekte brug af data er således kun mulig, når der er foretaget en kritisk stillingtagen.

3.1.1 En lille øvelse

Se på tallene på figur 3. Disse illustrerer en sekvens af data for en tilfældig tryktransmitter (overtryk målt i enheden bar [barg]) som ønskes aflæst på skærmen. Hvert tal repræsenterer en 1 sekunds opdatering af skærbilledet hvorfor talrækken svarer til en 20 sekunders periode.

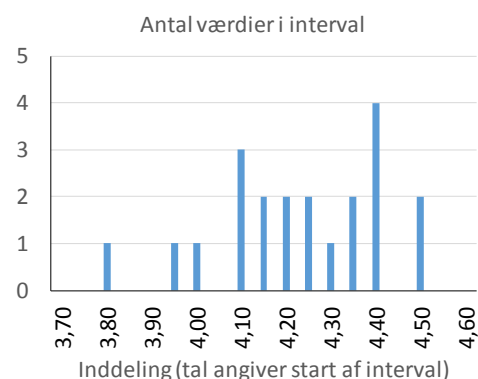
Øvelsen er at klippe et hul i et stykke papir således at kun et tal er synligt ad gangen og derefter føre papiret ned over tallene og foretage en observation af data. Prøv efterfølgende at angive værdien for målingen (uden at se yderligere på tallene). Hvad er værdien af denne måling over den givne periode?

4,392
4,155
4,069
3,940
4,372
4,197
4,292
4,237
4,303
4,388
4,109
4,223
4,473
4,500
3,969
4,070
4,147
4,391
4,346
4,071
3,768

Figur 3: Tilfældig datasekvens fra instrument

Mindste værdi er 3,768 og største værdi 4,500. Midtpunktet er 4,134. Det matematiske gennemsnit for perioden kan ikke aflæses med øjet (med mindre at man er meget god til denne disciplin) men kan beregnes til 4,210 – det vil sige 1,8 % højere end midtpunktet.

Figur 4 illustrerer fordelingen af data i mindre intervaller. Rent visuelt ville nogen måske forledes til at angive 4,25 som et rimeligt gennemsnit (2,8 % højere end midtpunktet), da værdierne under 4,05 og over 4,45 ligger med en distance i forhold til gruppen af data fra 4,10 til 4,40.



Figur 4: Fordeling af tilfældig datasekvens

Boks 5: Midtpunkt, middelværdi, gennemsnit, standardafvigelse og standardusikkerhed

I standarden for angivelse af måleusikkerhed, DS/ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 *Vejledning i at udtrykke måleusikkerhed (GUM)*, anvendes termer som *middelværdi*, *gennemsnit*, *standardafvigelse* og *standardusikkerhed*. Der henvises til denne og andre dokumenter for detaljerede forklaringer.

Middelværdi og *gennemsnit* anvendes ofte for den samme værdi. Dog bør *gennemsnit* altid forstås som en matematisk sum af en talrække i forholdet til antallet af tal i samme talrække. *Gennemsnit* kaldes også for den *aritmetiske middelværdi*. *Middelværdi* er den forventede værdi af et tal, når der haves et interval eller mængde af data.

For at undgå større forvirring om disse begreber anvendes i dette dokument udtrykket *midtpunkt* om værdien etableret ved et kendskab til en mindste og største værdi.

Hvis man foretager den samme måling 1000 gange, så vil der være en forskel imellem de målte værdier samt at disse sandsynligvis vil være fordelt i et interval med flest data nær den korrekte værdi. Betegnelsen *standard* i ordene *standardafvigelse* og *standardusikkerhed* henfører til at værdien af *standardafvigelsen* eller *standardusikkerheden* svarer til at 682 ud af 1000 målinger er indenfor intervallet gennemsnit $\pm$ standardusikkerhed (eller standardafvigelse). Resten er udenfor dette interval.

Forskellen imellem begreberne *standardafvigelse* og *standardusikkerhed* er kort beskrevet at *standardafvigelse* fastlægges via statistik/matematik og *standardusikkerhed* fastlægges på alle andre metoder til identifikation af usikkerheder. Med udtrykket *usikkerhed* menes en *tvivl* hvorimod der med udtrykket *afvigelse* menes *faktuel kendskab*.

I henhold til vejledningerne om usikkerhedsberegning beregnes *standardusikkerheden*, u , for en værdi fastlagt på basis af mindste og største værdi af de aflæste data, som

$$u = \frac{\text{største værdi} - \text{mindste værdi}}{2\sqrt{3}}$$

Det er her forudsat, at man ikke har kendskab til hvorledes tallene fordeler sig, men antager at den sande værdi vil have en lige stor sandsynlighed for at befinde sig i hele intervallet.

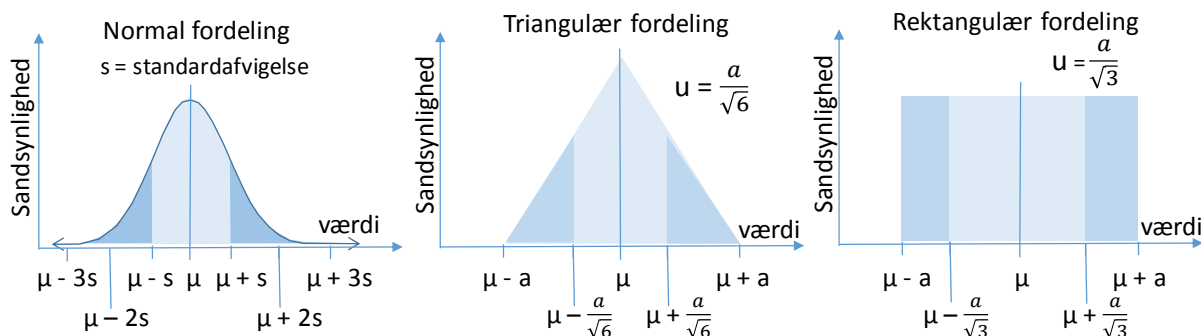
Angivelsen af værdien er således **værdi = midtpunkt $\pm u$** .

Boks 6: Sandsynlighedsfordeling og udvidet usikkerhed

Fordelingen af sandsynligheden for at den sande værdi ligger et bestemt sted i et angivet interval finder anvendelse i fastlæggelse af usikkerhedsbudgetter men er implicit medtaget ved angivelse af måleusikkerheder.

Ved statistisk bearbejdning af forsøgsdata antages næsten altid at der foreligger en normalfordeling – det vil sige at et større antal prøver vil fordele sig i forhold til den sande værdi som angivet på normalfordelingskurven. Denne har ikke nogle absolutte grænser men angiver en meget lille sandsynlighed for at en værdi ligger meget langt væk fra den sande værdi. Ved at bruge Excel funktionen STDEV() til beregning af standardafvigelsen antages normalfordelingen.

Standardusikkerheden (standardafvigelse), s , refererer til at 68% af datasættene ligger indenfor intervallet $[\mu-s; \mu+s]$ og resten udenfor.



Hvis en usikkerhed skal beregnes på basis af absolutte ydre grænser, så skal der laves en antagelse om hvorledes sandsynligheden fordeler sig. Hvis det antages at der kendes nogle ydre grænser $[\mu-a; \mu+a]$ og det formodes at langt de fleste værdier vil være omkring midtpunktet, μ , så vil standardusikkerheden beregnes som $\frac{a}{\sqrt{6}}$. Dette svarer til en triangulære fordeling. Hvis der ikke haves nogen ide om fordelingen, så anvendes den rektangulære fordeling hvorefter standardusikkerheden beregnes som $\frac{a}{\sqrt{3}}$. Denne værdi er et konservativ valg.

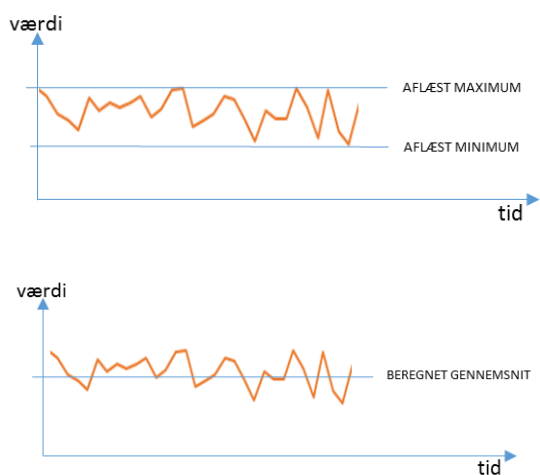
Der findes andre fordelinger – blandt andet assymetrisk fordeling og binære fordelinger. Der henvises til DS/ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 *Vejledning i at udtrykke måleusikkerhed (GUM)* for mere information om disse.

Ved angivelse af *ekspanderet usikkerhed* anvendes udtrykket *konfidensniveau*. Disse udtryk anvendes kort beskrevet til at angive at en usikkerhed ikke kun medtager cirka 68% af de mulige udfald men en anden værdi under forudsætning af at der antages en normalfordeling. Der anvendes normalt et konfidensniveau på 95%, hvilket svarer til en usikkerhed på $\pm 2s$.

Se mere i DS/ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 *Vejledning i at udtrykke måleusikkerhed (GUM)*.

Standardusikkerheden er for dataene for afsnit 3.1.1 fastlagt til 5.1 %. Den matematiske beregnede standardafvigelse for dataene er 4.5 %. Ved at anvende største og mindste værdi opnås en konservativ værdi for standardusikkerheden, hvilket ofte er efterspurgt i forhold til myndighedskontroller.

Metoden er også brugbar i forbindelse med aflæsning af kurver på SCADA systemer og lignende som illustreret på figur 5. Nogle systemer er i stand til ikke blot at trende værdier, men også beregne gennemsnit og standafvigelsen.



Figur 5: Aflæsning af minimum og maksimum på trend

De 1.8 % forskel imellem gennemsnittet og midtpunktet vil ikke være af betydning i de fleste situationer. I forbindelse med dokumentation af overholdelse af miljøkrav vil denne forskel kunne vise sig at være for stor.

3.2 Valg af signalkæde

Valget af signalkredsen, parametre og transmittertyper til en bestemt måleopgave har stor indflydelse på kvaliteten af de data, som præsenteres på skærmen.

Er der krav om høj præcision af målinger, skal der laves et detaljeret usikkerhedsbudget. Er der blot brug for en indikation, er det oftest nok at undersøge angivelser i datablade for transmitteren og sikre at der ikke er åbenlyse fejl i datatransmissionen.

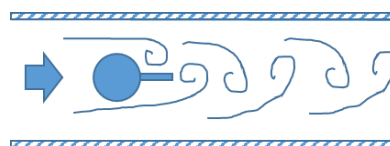
3.2.1 Valg af transmitter.

Ved valg af transmitter skal man normalt vide relativt præcist hvad der måles på, i hvilket miljø og hvor nøjagtig og præcise skal målingerne være. Det afhænger helt af applikationen og kan derfor ikke behandles i større detaljeringsgrad i dette modul.

For flowmetre er dynamikområdet vigtigt i forhold til tryk og temperaturmålinger, hvor der primært fokuseres på den nødvendige måleinterval. Herunder er givet et par faldgrupper til at illustrere, hvad der kan have indvirkning på usikkerhederne (både nøjagtighed og præcision).

Måleblænder anvendt til flowmåling udnytter at enhver obstruktion til et flow genererer et trykfald. Metoden har typisk et dynamikområde på 4:1, da forholdet imellem trykfald og flow er kvadratisk. Ved det lave flow er differenstrykket over blænden så lavt at målingen får en meget stor måleusikkerhed.

Vortex metre fungerer ud fra princippet af hvirvel afløsning – det vil sige der dannes en hvirvel proportionalt med hastigheden af væsken – se figur 6. Denne systematiske hvirvelafløsning forekommer i et begrænset interval af Reynoldstallet.



Figur 6: Hvirvel "gade" i et vortex meter

Det kan derfor opleves at vortex flowmetre ved for eksempel 20% af maksimum flowrate begynder at vise nul flow. Det er ikke måleinstrumentet, som fejler – det er de fysiske omstændigheder under målingen.

Ultralydsmålere er målere, som benytter princippet om at lyd bevæger sig med lydens og mediets hastighed. Ved måling af tidsforskellen imellem et lydssignal med strømmen og et lydssignal mod strømmen opnås en tidsforskel, som er proportionalt med mediets hastighed. Metoden er afhængig af at kunne sende og modtage lydssignaler igennem mediet. Det skal bemærkes at nogle gasarter virker lyddæmpende og derfor ikke kan måles med ultralyd.

Coriolismålere er betegnelsen for masseflowmålere, som udnytter coriolis princippet. Denne type måling og fler-spors ultralydsmålere er kendte for at være meget præcise. Da flowmålingen i en coriolismåler baseres på måling af vibrationer, så er denne type målere særligt sensitive for tilspændingsforhold og ydre vibrationer.

3.2.2 Valg af måleinterval, dødbånd, cut-off osv.

Dataloop til dataopsamling skal etableres enten via digitale eller analoge signaler (med eller uden ledning). Digitale signaler vil som udgangspunkt være at foretrække men er dyrere at etablere end en analog kreds. Det analoge kreds vil indeholde nogle usikkerhedsbidrag som – specielt ved lave mA – vil give nogle relative høje usikkerheder på målingen. Groft skrevet står valget således imellem en dyrere men mere nøjagtig løsning eller den ”nemme” og mere unøjagtige løsning.

Måleinterval, dødbånd og cut-off skal vælges med omhu. Analoge loops bør altid vælges således, at den maksimalt forekommende værdi kan repræsenteres ved mindre end 20 mA. Omvendt må det normale driftspunkt ikke ligge for tæt på 4 mA. Et usikkerhedsbudget vil vise, hvad den faktuelle usikkerhed vil være.

Boks 7: DAHS standard og miljørapportering

For miljørapportering – for eksempel NO_x udledning fra et anlæg - fremgår det af gældende regler i Danmark, at data skal være opsamlet med maksimalt 9 sekunders intervaller. Disse skal så anvendes til at beregne gennemsnitsværdier på timebasis, døgnbasis og månedsbasis.

Der forventes i 2017 at udkomme en standard for DAHS (*Data Acquisition and Handling System*), som fastlægger krav til dataopsamlingsfrekvenser og håndtering af data inklusiv omregning til gennemsnitsværdier. Disse krav forventes at gælde for alle rapporteringer i forhold til myndigheder. Ved et design af dataopsamling bør man derfor sikre at kravene kan overholdes.

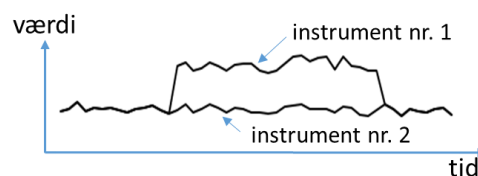
Dødbånd og cut-off anvendt til at reducere forstyrrende fejlsignaler og fejlvisninger skal medtages i usikkerhedsberegningerne, men helst nulstilles når der foretages en kontrol af om skærmen viser transmitternes data retvisende.

3.3 Kontrol ved sammenligning

Det er vigtigt periodisk at kontrollere *troværdigheden* af en måling. Hvorledes dette gøres afhænger helt af til, hvilket niveau som kontrollen skal gennemføres.

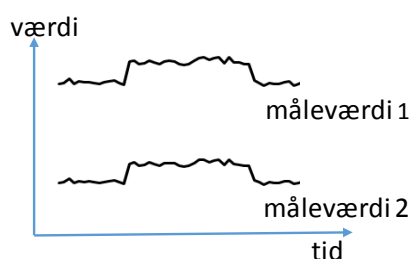
Den mest simple kontrol, som kan gennemføres i et kontrolrum, er ved at sammenstille data for uafhængige signaler, men hvor disse viser samme måling. Det kan for eksempel være to tryktransmittere, hvor den ene anvendes til styring/overvågning og den anden anvendes til autonome sikkerhedssystemer. Nedenfor er nævnt forskellige situationer:

- Et anlæg, hvor sikkerheds- og rapporterings-systemet anvender forskellige transmittere til måling af tryk/temperatur, og hvor disse systemer er adskilte og derfor skal have hver deres transmitter. I disse tilfælde vil en graf som sammenholder værdierne fra disse transmittere (og forskellen) kunne bruges til, at vise at målingerne er troværdige (det er sjældent at to uafhængige målinger fejler samtidigt og lige meget). Tilsvarende vil en rørstrækning med forskellige flowmeter i serie kunne eftervise flow mængden ved at sammenstille værdierne og en indikering af troværdigheden af data. Figur 7 illustrerer dette. Det er her forudsat, at nedstrøms flowmåling ikke er påvirket af opstrøms flowmeter og at de begge er monteret i henhold til producentens krav.



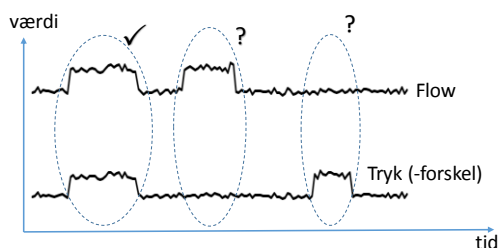
Figur 7: Trend, hvor to parallelle målinger afviger fra hinanden

- En beholders indhold (gas) holdes under et (næsten) konstant tryk via en automatisk ventil (PCV ventil) og hvor mængden af gas gennemstrømmende beholderen registreres via et flowmeter monteret på afgang af beholderen. Hvis man registrerer PCV ventils vandring og sammenholder denne med flowmetrets visning, så vil disse signaler følges ad (afhænger dog af PCV ventils karakteristik). Figur 7 illustrerer dette. En usikkerhedsberegning vil vise, at PCV ventilen ikke direkte kan anvendes som flowmeter på grund af stor usikkerhed, men kan anvendes til at indikere om flowmetrets visning er troværdig.



Figur 8: Parallelle data.

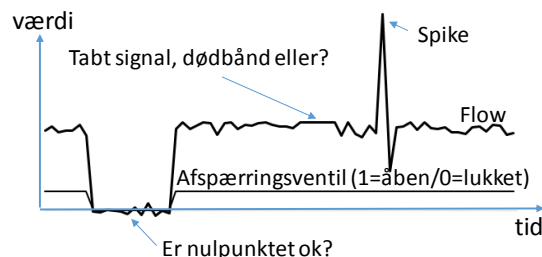
- Det kendes fra de hydrauliske grundprincipper, at der er en sammenhæng imellem trykfald og flowrate. Kendskabet til sammenhørende flow og tryk (trykdifferens) kan ligeledes anvendes til, at indikere en målings troværdighed. På figur 9 er der 3 scenarier vist: en normal situation, hvor ændringen i flow og tryk følges ad, en situation, hvor der øjensynlig er et forøget flow uden øget trykforskel og en situation uden ændring af flow



Figur 9: Trendkurve med nulpunkt, manglende opdatering og spike og transmitter installation.

men tydelig ændring i trykforskellen. Såfremt en af de sidste to observeres bør der foretages en nærmere undersøgelse af kilderne til forskellene.

- En trend kan også anvendes til at vurdere data. Figur 10 illustrerer en trend, hvor der er en periode med manglende opdatering af et signal samt et punkt med en spike – for eksempel hvor vedligeholdsteknikere er i marken for at kontrollere et signal, men hvor signalet ikke er *inhibiteret* i SCADA systemet (inhibitering = fagudtryk for at et signal erstattes med en fast værdi og dermed forhindres i at blive vist/brugt). Herudover kan nulpunktets nøjagtighed også ses. Se også data i højre margin.



Figur 10: Trendkurve med nulpunkt, manglende opdatering og spike og transmitter installation.

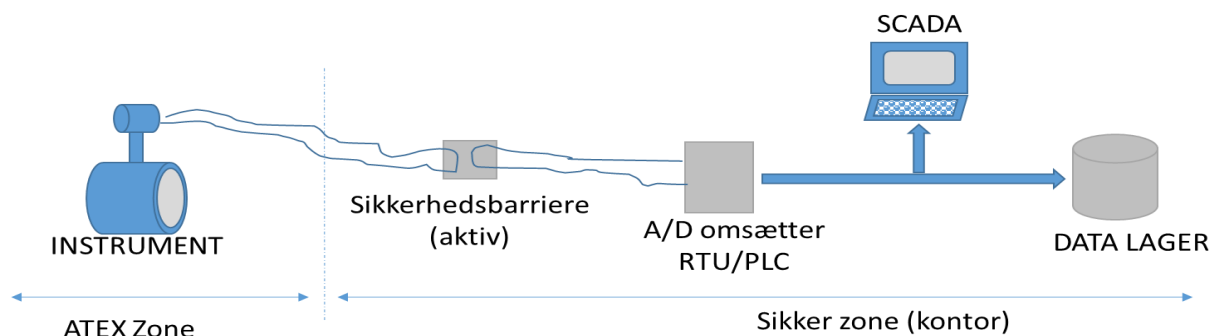
3.4 Direkte kontrol af visning

Er der behov for at dokumentere et instruments nøjagtighed og præcision, skal der foretages en *prøvning* af instrumentet. Dette kan være aktuelt i forhold til at eftervise en påkrævet nøjagtighed/præcision overfor myndigheder eller dennes repræsentant.

Bemærk: I dette afsnit skal udtrykket kontrol forstås bredt, således at det omfatter en sammenligning imellem visning (indikeret værdi) og forventet værdi samt om nødvendigt en justering af en parameter med henblik på, at reducere en afvigelse imellem forventet værdi og indikeret værdi.

Figur 11 illustrerer et instrumentloop, hvor værdierne fra et instrument gemmes for rapporteringsformål i et

4,062
4,270
3,974
4,073
4,072
4,368
3,795
-0,043
-0,073
0,032
0,004
-0,042
-0,189
0,169
-0,215
0,357
-0,239
-0,010
-0,148
4,153
4,500
4,171
4,323
4,500
4,445
3,866
4,432
4,490
4,162
4,367
4,317
4,466
4,500
4,379
4,282
4,258
4,187
4,466
4,466
4,466
4,466
3,830
4,480
3,913
3,743
4,305
3,935
10,000
2,000
4,251
4,288
4,500
4,103
4,500
4,190
4,168
4,215
3,979
3,976
3,908
4,253
4,283
4,046
4,366
4,335
3,846
3,943



Figur 11: Simple skitse af sensor og transmitter installation.

datlager og hvor data parallelt vises på en kontrolskærm.

Kontrollen af instrumentet skal eftervises, at data i datalageret er den samme som er genereret af instrumentet. Overordnet kan denne kontrol gøres på to måder:

- Afmontering af instrumentet og opsætte denne i en prøvestand som kan finde sig enten på firmaets egne faciliteter eller et akkrediteret laboratorie. Hvis der anvendes analog kommunikation, så skal denne kontrolleres med en *loop-tester*, som fungerer som et reference instrument. Denne metode anvendes til flowmetre men også til tryk- og temperaturtransmitter, hvor omgivelserne ikke tillader etablering af en stabil kendt tilstand (referencetilstand).
- Kontrol af instrumentet på stedet. Dette kan for eksempel være en tryktransmitter eller temperaturtransmitter (sensor i en føler-lomme), hvor det er muligt at etablere en stabil kendt tilstand.

Afsnit 3.4.1-3.4.5 beskriver kortfattet de enkelte dele af kontrollen. Som udgangspunkt antages det, at data vist på kontrolskærmen er identiske med data i datalageret.

3.4.1 Etablering af en kendt tilstand

Etablering af en kendt og stabil referencetilstand er basalt for at kunne lave sporbare kontroller.

For tryktransmittere kan referencetilstanden etableres ved at der påtrykkes instrumentet et luft/hydraulisk overtryk (eller undertryk) via pumper. Atmosfæretrykket vil være et naturligt kontrolpunkt.

For temperaturtransmittere kontrolleret på stedet anvendes nemmest vandbade (for eksempel isvand i en termoflaske). Der findes også tørkalibratorer som ikke anvender vand, men som kan kontrollere lufttemperaturen i et tynd rør, hvori temperatur-sensoren indsættes.

For vandmålere etableres den kendte tilstand ved at der opretholdes et flow igennem det testede flowmeter.

For disse metoder gælder, at den kendte tilstand i sig selv ikke er sporbar men at der skal anvendes et referenceinstrument, som fastlægger reference-værdien.

3.4.2 Referenceinstrumenter

Referenceinstrumenter er følsomt (og dyrt) udstyr. Nøjagtighed og præcisionen af disse skal være væsentligt bedre end de kontrolgrænser, som ønskes eftervist. Det nytter ikke at anvende et instrument med 2 % usikkerhed til at eftervise en 0,1 % nøjagtighed. En simpel tommefingerregel er 1/10, men vil ofte være umulig at efterleve.

Referenceinstrumenter skal være kontrollerede i forhold til en sporbar reference. Ofte kræves at referenceinstrumenter kontrolleres mindst én gang årligt af et akkrediteret laboratorie (EN 17025), for at målinger kan godtages i forhold til overholdelse af myndighedskrav og lignende. Hvor tit et referenceinstrument skal kontrolleres, og om det skal være akkrediteret bør fremgå af firmaets eget kvalitetssystem.

Når et referenceinstrument tages frem fra lageret, skal det altid kontrolleres om instrumentet ser ud til

at have fået skader samt at gyldighedsperioden for seneste kalibrering ikke er udløbet. Hvis der anvendes referenceudstyr, som er kontrolleret internt i forhold til firmaets egen *normal* bør det tjekkes, at denne



Figur 12: Eksempel på mærkat påsat et instrument efter en akkrediteret kalibrering (Billedet taget 2016-06-24; må dette instrument anvendes?)

normal er kontrolleret akkrediteret og med gyldig certifikat. Figur 12 viser et eksempel på en mærkat.

3.4.3 Kontrol af transmitter/sensor på stedet (eller firmaets eget værksted).

Ved in-situ opgave gennemføres kontrolmålingen ud fra forudbestemte målepunkter samt acceptgrænser. Det er vigtigt, at den ansvarlige for opgaven har fastlagt målepunkter og acceptgrænser på forhånd, således at der ikke efterfølgende kan stilles spørgsmål ved uvildigheden af kontrollen.

Målingerne gennemføres ved påtrykning af referencetilstanden og efterfølgende sammenholde referenceinstrumentets visning med visningen i kontrolrummet (det er her vigtigt, at man har nulstillet alle dødbånd og cut-off med mindre disse er medtaget i usikkerhedsbudgettet).

Der tages om muligt flere målinger på samme kontrolpunkt for at undgå, at en *menneskelig fejl* betyder at der skal justeres, hvorefter justeringen formodentligt skal korrigeres tilbage i forbindelse med næste kontrolmåling.

Selv om det viser sig, at afvigelsen imellem referenceinstrumentets visning med visningen i kontrolrummet er mindre end acceptgrænsen, skal der måske alligevel foretages en justering (diskuteres i afsnit 3.5). Herefter foretages igen en kontrol.

For instrumenter med anvendelse til overholdelse af myndighedskrav eller afregning af afgifter og lignende er det vigtigt, at sikre sig at både værdierne

før og efter justering registreres af hensyn til sporbarheden.

Resultatet af kontrollen skal gemmes, således at denne kan genfindes ved et senere audit.

3.4.4 Kontrol af et instrument ved et akkrediteret laboratorium

Hvis instrumentet kontrolleres ved et akkrediteret laboratorium, er det vigtigt at afsenderen har specificeret hvilke målepunkter som instrumentet skal kontrolleres ved.

Når instrumentet er tilbage fra kontrollen, modtages et certifikat, hvoraf afvigelsen fremgår ved hvert målepunkt, standardafvigelsen for målepunktet (usikkerhed på afvigelse) samt angivelse af laboratoriets usikkerhed. Det akkrediterede laboratorium må ikke foretage en vurdering af om instrumentet viser godt nok (udenfor akkreditering må de godt komme med en kommentar, men det er ejeren af instrumentet som har ansvaret for, at reagere på om forskelle imellem indikeret visning og referencen er for store eller accepterede).

Den ansvarlige for vedligehold af instrumenter skal derefter vurdere om de opnåede resultater er indenfor eller udenfor acceptgrænsen, idet denne sammenholdes med den konstaterede afvigelse med tilhørende usikkerhed.

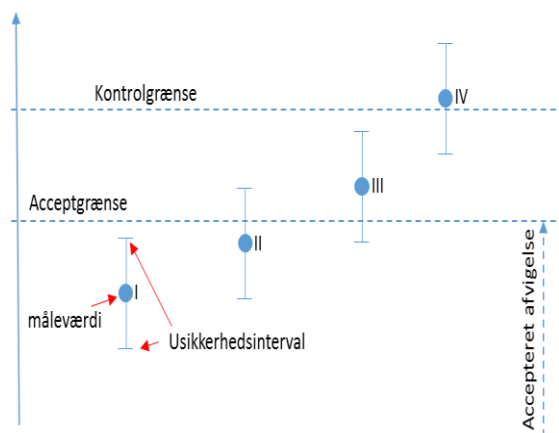
3.5 Anvendelse af kontrolkort og beslutning om justering

I afsnit 3.4.3 og 3.4.4 nævnes acceptgrænser og justeringer. Generelt skal man ikke justere et instrument med mindre der er et klart behov for dette. Det ligger i usikkerhedens natur, at hvis en afvigelse er over acceptgrænsen, så kan afvigelsen ved næste kontrol være under acceptgrænsen. Der er derfor brug for nogle simple regler i forhold til justering og opfølgning på resultaterne, og som ikke medfører utallige justeringer frem og tilbage.

3.5.1 Kontrol- og acceptgrænser

Figur 13 viser fire forskellige udfald af en kontrol og hvor både den målte værdi og usikkerheden er

illustreret. Usikkerhedsintervallet er oftest $[-2\cdot u; 2\cdot u]$, idet der normalt anvendes at opgive en udvidet



Figur 13: Målepunkter og acceptgrænser

usikkerhed svarende til at 950 ud af 1000 målinger vil ligge indenfor.

"I" er tydeligt indenfor. "IV" er tydeligt udenfor acceptgrænsen og skal justeres. "II" og "III" kan hverken angives at være udenfor eller indenfor acceptgrænsen.

Dokumentet JCGM 106:2012 *Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment* beskriver i detaljer, hvorledes man kan fastlægge nærmere retningslinjer for at vurdere situation II og III. Denne vurdering tager udgangspunkt i at hvor der er alvorlige risici for firmaet – for eksempel

personsikkerhed – så skal II og III dømmes ude. Hvis der blot er tale om en risiko for at betale for meget i afgift, så kan II og III dømmes inde. Tænk blot på at Politiet allerede i dag kun stopper bilister, som med sikkerhed kører for stærkt og der ved fastlæggelse af en bøde gives rabat ved af fratrække usikkerheden på fartmålingen.

Der kan derfor ikke gives nogle faste regler for om II eller III skal accepteres. Det er dog vigtigt at firmaets kvalitetshåndbog tydeligt angiver et regelsæt. Det er også af stor praktisk betydning at teknikeren ude i felten entydigt har en kontrolgrænse af forholde sig til, således at denne kun skal vurdere behovet for justering på baggrund af den målte værdi og ikke anvende tid på at vurdere om målepunktet svarer til I, II, III eller IV.

3.5.2 Kontrolkort

Justeringer til fjernelse af systematiske fejl kan være nødvendige selv om målingerne er klart indenfor acceptgrænsen. De systematiske fejl identificeres nemmest ved at føre et kontrolkort for hvert instrument indeholdende en trend eller tabel over de konstaterede afvigelser samt usikkerheden på målingen (hvorledes denne fremkommer beskrives i afsnit 4).

Der refereres normalt til kontrolkort kaldet *Shewhart*, *CUSUM* eller *EWMA* (men der er mange andre). Hvilken som anvendes er reelt ligegyldigt – det vigtige er, at der anvendes en systematisk fremgangsmåde.

Boks 8: Lidt om kontrolkort

Kontrolkortenes historie starter ofte med Shewhart kontrolkortet, som er opkaldt efter Walter A. Shewhart (1891-1967) som i 1920'erne arbejdede for Bell Labs med at forbedre kvaliteten af telefonsystemer. Walter A. Shewhart er også ansvarlig for anvendelsen af normalfordelingen til vurdering af usikkerheder (normalfordelingskurven kaldes også for en Bell curve).

Shewhart kortet er godt til at identificere systematiske og større spring men detekterer ikke drift.

CUSUM kontrolkortet akkumulere afvigelsen og kan dermed detektere systematiske afvigelser og drift før de kan ses ud fra et Shewhart kontrolkort. CUSUM kontrolkortet blev præsenteret i 1954.

EWMA kontrolkortet, som er yngre en CUSUM, medtager i modsætning til Shewhart kontrolkortet samtlige historiske data og ikke kun de seneste. EWMA metoden er god til at detektere små afvigelser men ikke store, hvilket Shewhart kontrolkortet kan detektere.

Det vil være unødvendigt at angive at CUSUM og EWMA er langt mere komplicerede at anvende og forstå, hvorfor det mere enkle Shewhart kontrolkort anvendes i dette dokument.

Figur 14 viser et *Shewhart* kontrolkort, som er det simpleste og derfor mest enkle at beskrive. Opbygningen består af alle (historiske) målepunkter – det vil sige konstaterede afvigelser imellem referenceinstrumentet og datalagerets værdi (skærmaflæsning).

Det er her valgt at tillægge 3σ samme værdi som kontrolgrænsen. Bemærk at σ ikke har nogen direkte forbindelse til måleusikkerheder, men hvor der er taget højde for måleusikkerheden i forbindelse med fastlæggelsen af kontrolgrænsen (jf. figur 13). Med dette valgt er det således valgt, at 1 ud af 370 kontroller vil betyde en justering selv om instrumentet faktisk er OK.

Det er normalt at antage alle usikkerheder er tilfældige og vil have samme udfaldsfordeling som *normalfordelingen*. Kurverne for σ , 2σ , 3σ og 4σ svarer til, at henholdsvis 68 %, 95 %, 99,7 % og 99,99 % af data skal være indenfor kurven.

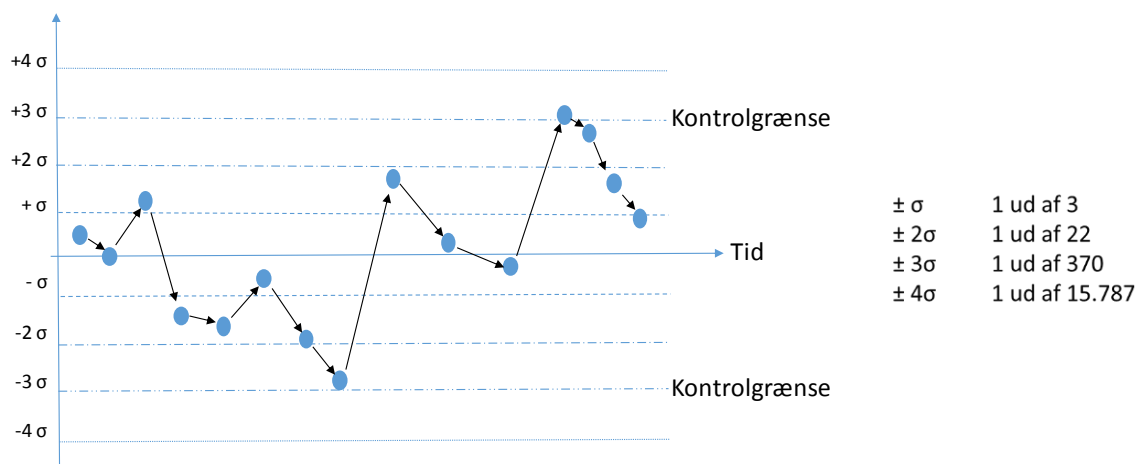
Det mest simple regelsæt for at tage beslutninger om justering på baggrund af kontrol er *sund fornuft*. Hvor denne ikke er tilstrækkelig systematisk og fyldestgørende, kan man definere sit eget regelsæt.

Nedenfor er vist et regelsæt for hvornår der skal initieres en justering, som er baseret på principperne i hvad der går under navnet *Westgard reglerne*:

- Afvigelsen er større end 3σ
- 2 på hinanden efterfølgende kontroller viser afvigelser imellem 2σ og 3σ (eller -2σ og -3σ)
- 4 på hinanden efterfølgende kontroller viser afvigelse imellem σ og 3σ (eller $-\sigma$ og -3σ)
- 10 på hinanden efterfølgende kontroller viser afvigelse med samme fortegn
- 2 på hinanden efterfølgende kontroller viser først afvigelse imellem 2σ og 3σ og dernæst imellem -2σ og -3σ (eller omvendt).

Sidstnævnte regel skal tages som et udtryk for, at tolerancerne kan være for snævre. I forhold til figur 14 er der mindst én regel, som er aktiveret. Brug en kort pause til at finde hvilke(n).

Nøgleordene for kontrolkortets anvendelse er acceptgrænserne og usikkerheden, u. Acceptgrænsen fastlægges ud fra behovet og brugen af målingen (eventuel angivelsen af instrumentets usikkerhed fundet i et datablad). Usikkerheden, u, fastlægges ud fra usikkerhedsbudgetter, hvilket beskrives i kapitel 4.



Figur 14: *Shewhart* kontrolkort. Tallene til højre viser hvor mange gode kontroller, som vil være udenfor tolerancen. Pile indikerer den tidsmæssige rækkefølge.

4 Usikkerhedsbudgettet

Usikkerhedsbudgetter har til formål at estimere en forventet usikkerhed på en værdi og fastlægge en målestok til vurdering for, om en måling er god nok til formålet. Usikkerhedsbudgetter kan laves enkle eller komplicerede alt efter behov og baggrund. Det detaljerede usikkerhedsbudget skal altid laves, når der ønskes en høj grad af nøjagtighed og præcision eller når der er fokus på små usikkerheder.

Til kontrol af instrumenter er de mere enkle udgaver tilstrækkelige, hvorfor dette kapitel beskriver etablering af et simpelt usikkerhedsbudget og overlader læseren til at studere DS/ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Vejledning i at udtrykke usikkerhed (GUM)* eller lignende dokumenter.

Der findes to tilgange til usikkerhedsbudgettet – beregning af den relative usikkerhed og den absolutte usikkerhed. For begge metoder gælder, at usikkerheden kun kan beregnes, når der anvendes de samme enheder på data. Ved fastlæggelse af usikkerhedsbudgettet er der således påkrævet en vis disciplin mht. anvendte enheder, således at der ikke ”blandes frugt”.

For at illustrere at usikkerheder på en transmitter ikke direkte skaleres til den kombinerede måleusikkerhed, er der her angivet et eksempel for en Vortex måler anvendt til måling af naturgas.

Vortex metret måler i m³/t. Da gas fylder mere eller mindre alt efter tryk og temperatur, skal der laves en omregning til den standardiserede enhed Nm³/t via formel 1

Formel 1:

$$Q = q * \frac{(P_{\text{Overtryk}} + P_{\text{Ref}}) * (T_{\text{Ref}}) * Z_{\text{Ref}}}{(P_{\text{Ref}}) * (T + T_{\text{Ref}}) * Z}$$

Nm³ er defineret som det volumen en gas fylder ved fastlagte niveauer for temperatur (0 °C = 273.15 K) og tryk (1 bar absolut). Q og q er volumenflowet i henholdsvis Nm³/t og m³/t. Z er kompressibiliteten for gassen, som er cirka 1 ved atmosfæretrykket.

Temperaturtransmitteren anvendes til måling i °C. Ved 20 °C svarer en 1 °C afvigelse på måleinstrumentet til 0,4 % på indflydelsen på Q.

Tilsvarende vil en afvigelse på 0,1 bar ved 5 bar på en overtryksmåling svare til en afvigelse på 1,7 % på skaleringen (0,1 i forhold til 5 er 0,2 %). For en absoluttryksmåler vil den relative afvigelse være ens.

4.1 Usikkerhed baseret på målinger

I afsnit 3.1.1 blev der vist en enkel metode til bestemmelse af en målt værdi med tilhørende usikkerhed på aflæsningen af værdien på en skærm. Hvis data haves til rådighed i et excel regneark er det relativt enkelt at beregne standardafvigelsen, s, ved hjælp af funktionen STDEV().

Derudover skal der tages højde for følgende ting:

- Usikkerhed på aflæsningen som følge af antallet af decimaler kan fastlægges til værdien af mindste betydende ciffer, divideret med $\sqrt{3}$.
- Usikkerheden på værdien som følge af der er anvendt et mA loop og et A/D kort med relativt få bits kan parallelt fastlægges til værdien af mindste betydende bit ciffer divideret med $\sqrt{3}$. Se også tabel 1.
- Usikkerheden på måleinstrumentet og dataloop (standard usikkerheder).

Årsagen til at usikkerhed på aflæsning og A/D omsætningen skal divideres med $\sqrt{3}$ er, at usikkerheden på aflæsning af den sande værdi 2,1 i displayet kan være enten 2,0, 2,1 eller 2,2. Disse grænser er således absolutte og kan betragtes på samme måde som beskrevet i afsnit 3.1.1 for aflæsning af data på skærmen.

Den målingsbaserede usikkerhed kan derefter estimeres ud fra formel 2

Formel 2:

$$u(\text{aflæst}) = \sqrt{(u_{mi})^2 + (u_{loop})^2 + (u_{afl})^2}$$

hvor

- u_{mi} er instrumentets usikkerhed (se afsnit 4.2)
- u_{loop} er usikkerheden for håndteringen af data imellem instrumentet og datalageret
- u_{afl} er usikkerheden på aflæsningsnøjagtigheden

Tilsvarende kan der laves et estimat for usikkerheden på et referenceinstrument ud fra formel 3

Formel 3:

$$u(ref) = \sqrt{(u_{mi})^2 + (u_{kalib})^2}$$

hvor

- u_{mi} er referenceinstrumentets usikkerhed (repeterbarhed, indeholdende effekter fra aflæsning, drift, omgivelser, og så videre)
- u_{kalib} er det akkrediterede laboratories usikkerhed som angivet i certifikatet, indeholdende laboratoriets usikkerhed, spredning af data, etc, under kontrollerede forhold.

For begge beregninger er det vigtigt, at huske at der anvendes standard usikkerheder og ikke udvidede usikkerhed. Nøglen til et godt usikkerhedsbudget er derfor forståelsen af u_{mi} , hvilket kræver gennemgang af datablade for instrumentet. Usikkerheden for datatransmissionen følger samme principper.

4.2 Instrumenters datablade og usikkerheder

Det er naturligt, at en leverandør forsøger at fremstille kvaliteten af et måleinstrument således, at det fremstår mest fordelagtigt – også med hensyn til usikkerheden.

Nogle producenter af udstyr angiver måleusikkerheder tydeligt med reference til 95% *konfidensinterval* (normalfordeling og usikkerhed på 2s). Andre producenter angiver data for et 66% *konfidensinterval*. I datablade kan også være angivet *tolerancer*, hvilket forstås som absolutte grænser for visningen i forhold til sand værdi.

Hvis der er angivet 95% *konfidensinterval*, skal den angivne usikkerhed divideres med 2 for at få den relevante standard usikkerhed. Hvis der angives absolutte grænser – det vil sige altid mindre end X og større end Y, så anvendes omregningen jævnfør boks 6.

Måleinstrumentets datablad kan angive en *total performance*, hvilket er usikkerheden på målingen som følge af et antal af påvirkninger. Ofte står der dog nogle begrænsninger.

For det detaljerede usikkerhedsbudget kan der i datablade også findes informationer om så forskellige ting såsom

- Usikkerhed afhængig af det anvendte mindste og største måleværdi (*måleinterval*)
- Drift af nulpunkt
- Drift af proportionalitet
- Følsomhed overfor atmosfæretryk/temperatur eller luftfugtighed
- Følsomhed overfor orientering
- Følsomhed overfor om det er vand, luft eller andet medie
- Nøjagtigheden for output signalet, hvis der anvendes "mA"
- ...

Det detaljerede usikkerhedsbudget skal altid medtage alle disse påvirkninger.

For datatransmissionen vil bidragene til usikkerhederne normalt kun være interessante for mA loops og primært relatere sig til antallet af bits anvendt til A/D omsætning og hvor på 4 mA - 20 mA kurven som anvendes (usikkerhed på mA er i forhold til maksimalværdien, hvilket har størst betydning ved lave mA).

4.3 Et regneeksempel

Der tages udgangspunkt i figur 10. Der ønskes at få etableret en acceptgrænse for kontrolmålingerne ude i felten. De væsentligste information er angivet i tabel 2.

Måleinstrument

- 2 % af fuld skala på 6,0 bar = 0,12 bar
- Ved driftspunktet 3,0 bar er usikkerheden stadig 0,12 bar men svarer til 4 % relativt.

Strømkreds

- Strømmen i driftspunktet er 3,0 bar / 6,0 bar * 16,0 mA + 4,0 mA = 12,0 mA
- Datatransmissionens usikkerhed er 0,01 mA, hvilket svarer til $u = 0,005$ mA. Dette kan igen omsættes til absolut usikkerhed på 0,005 mA / 16 mA * 6,0 bar = 0,001875 bar.
- A/D omsætningens mindste betydende omsætning er ved 16 bit og et måleinterval på

Komponent	Angivelse
Instrument	2% af fuld skala på 6,0 bar; kontrolpunkt er ved 3,0 bar 4-20 mA output anvendes til dataoverførsel
Sikkerhedsbarriere	0,01 mA usikkerhed (95% konfidens)
AD konverter	16 bit
Skærmopløsning	0,001 bar
Accepteret afvigelse	0,5 bar (ikke kritisk måling)
Instrument	2% af fuld skala på 6,0 bar; kontrolpunkt er ved 3,0 bar 4-20 mA output anvendes til dataoverførsel
Reference instrument	Gentagelighed angives under alle forhold at være 0,2 % af fuld skala, som er 10,0 bar)
Kalibrering	Standardafvigelsen på referencen er 0,3 % relativ ved 3 bar

Tabel 2: Specifikation for usikkerhedsbudget.

$6,0 \text{ bar} = 1/65536 * 6,0 \text{ bar} / \sqrt{3} = 0,000053 \text{ bar}$,
hvilket er meget mindre usikkerheden på
barrierens overførsel af data.

- Kombineret usikkerhed for strømkreds beregnes
 $\sqrt{0,00042^2 + 0,000053^2} = 0,00042 \text{ bar}$

Aflæsning

- Skærmopløsningen på 0,001 medfører en
standardusikkerhed på 0,001 bar / $\sqrt{3} = 0,00058 \text{ bar}$

Aflæst værdi (af instrument og signalkæde)

- Den kombinerede måleusikkerhed ved 66 %
konfidens er dermed
 $\sqrt{0,12^2 + 0,00042^2 + 0,00058^2} = 0,12 \text{ bar}$
svarende til 4 % relativ i kontrolpunktet.

Måleinstrument (Referenceinstrument)

- 0,2 % af fuldskala på 10,0 bar = 0,02 bar

Kalibrering

- Test i laboratoriet viser 0,2 % usikkerhed ved 3,0
bar svarende til 0,006 bar

Reference (reference instrumentet)

- Den kombinerede standardusikkerhed af
referenceinstrumentet er ved kontrolpunktet
 $\sqrt{0,02^2 + 0,006^2} = 0,021 \text{ bar}$ svarende til 0,7 %
relativ i kontrolpunktet.

Reference instrumentet er cirka 2½ gange bedre end
instrumentets beregnede usikkerhed, hvilket er ok
men absolut ikke *prangende*.

Usikkerhed på forskellen imellem referencemåling og
den aflæst værdi kan derefter fastlægges til
 $\sqrt{0,12^2 + 0,021^2} = 0,12 \text{ bar}$, svarende til 4% relativ.

Acceptkriteriet er ud fra anlægget procesdesign krav
fastsat til 0,5 bar. Acceptgrænsen er derfor 0,5 bar.
Kontrolgrænsen er summen af usikkerheden (95 %
konfidens; usikkerhed = 2* standard usikkerhed) og
acceptgrænsen. Dette betyder at instrumentet ikke
skal justeres på stedet, hvis afvigelsen imellem
referencemålingen og visningen på skærmen er
mindre end 0,5 bar + 2* 0,12 bar = 0,74 bar. Hvis
værdien er lavere, så kan der være behov for justering
alt efter kontrolkortets historiske visning.

5 Opsummering

Anvendelsen af data vist på en skærm er nemt. Man
aflæser en værdi og bør forvente, at det er den
korrekte værdi. Sådan er virkeligheden dog ikke altid.

Dette modul har gennemgået bidragsydere til
unøjagtigheder på data vist på en skærm. Modulet
har også berørt kontrolmåling og hvornår der bør
gribes ind og foretages en justering på basis af
historikken for et instrument. Der er derudover
kortfattet vist en metode til fastlæggelse af
usikkerhedsbudgetter.

Det vil være for omfattende at gennemgå alle
aspekter i detaljer – specielt hvorledes det
detaljerede (og korrekte) usikkerhedsbudget
etableres og hvorledes kontrolmålinger gennemføres
i praksis. For yderligere fordybelse henvises derfor til
de vejledninger, som er udgivet af producenter af
udstyr.